

УДК 630*323

С. Е. Арико, аспирант (БГТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРОН ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ИХ ВАЛКЕ

В статье приведена методика определения усилий, возникающих в результате взаимодействия кроны падающего и стоящих деревьев, и площади контакта сучьев. Рассмотрено применяемое при проведении экспериментальных исследований оборудование, а также даны результаты определения усилий взаимодействия кроны сосновых и еловых деревьев, имеющих различные таксационные показатели.

In article the technique of definition of the efforts resulting interaction of crowns falling both standing trees, and the areas of contact piece of boughs is resulted. The equipment is considered applied at carrying out of experimental researches, and also results of definition of efforts of interaction of crowns of the pine and fir-tree trees having various таксационные indicators are yielded.

Введение. Проведение рубок промежуточного пользования является неотъемлемой частью ухода за лесом. В Скандинавских странах данный вид лесозаготовительных работ на 90–95% выполняется на базе машинных комплексов в составе харвестера (валочно-сучкорезно-раскряжевой машины) и форвардера (погрузочно-транспортной машины). Условия эксплуатации во многом обуславливают выбор параметров лесозаготовительной машины, а также технологии их работы. В настоящее время оценка динамической нагруженности валочных, валочно-пакетирующих, валочно-трелевочных и других многооперационных машин, предназначенных для проведения рубок ухода и выборочных санитарных рубок, осуществляется без учета силы взаимодействия вершинной части деревьев при их валке. Учет данного параметра позволит адекватно моделировать процесс падения деревьев, оценивать вероятность его зависания, а также повреждения сучьев и ствола оставшихся насаждений.

1. Методика определения усилия взаимодействия сучьев при валке деревьев. Учитывая, что при проведении рубок промежуточного

пользования в условиях Республики Беларусь заготавливается около 4,5 млн. м³ древесины, а также тот факт, что в породном составе насаждений в лесах страны 60% составляют хвойные насаждения, в качестве объекта исследований выбрали деревья сосны и ели с различными таксационными показателями, определенными по соответствующим формулам [1, 2] (табл. 1).

Для имитации различной полноты насаждений деревья были уложены на стойки, позволяющие, согласно схеме проведения исследований (рис. 1), производить смещение испытуемых образцов друг относительно друга, тем самым изменять площадь взаимодействия кроны.

Для регистрации усилия, возникающего при взаимодействии сучьев, на расстоянии h от комлевой части закреплялся датчик силы U9B фирмы «НВМ» (рис. 2), работающий совместно с многоканальным измерительным комплексом Spider 8 и персональным компьютером. Питание измерительного комплекса осуществлялось от аккумулятора. Для обеспечения техники безопасности оборудование размещалось на расстоянии 20 м от места проведения исследований.

Таблица 1

Параметры исследуемых деревьев

№	Диаметр дерева на высоте 1,3 м $d_{1,3}$, м	Высота дерева H , м	Объем хлыста $V_{хл}$, м ³	Протяженность кроны l_k , м	Максимальный диаметр кроны D_k , м
Сосна					
1	0,194	16,2	0,22	3,9	1,65
2	0,178	21,1	0,24	5,9	1,65
3	0,252	22,5	0,52	7,9	2,05
Ель					
1	0,283	26,1	0,79	18,8	3,5
2	0,185	17,3	0,22	9,2	2,1
3	0,239	20,5	0,44	12,8	2,45

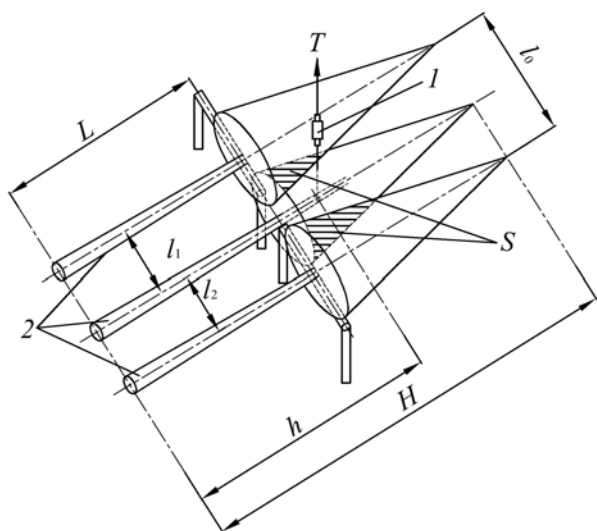


Рис. 1. Схема проведения исследований:
1 – датчик силы; 2 – деревья

Обрабатывался сигнал с помощью программного пакета Catman, который позволял производить тарировку и проверку работоспособности датчика. Запись данных сопровождалась иллюстрацией процесса в виде графика, что позволяло предварительно оценивать получаемый результат. При исследовании использовался тензометрический метод и соответствующая схема измерения, позволяющая производить регистрацию измеряемого параметра с относительной погрешностью 0,5%.



Рис. 2. Датчик силы U9B

Во время экспериментальных исследований подъем деревьев осуществлялся с постоянной скоростью 0,5 м/с на высоту 4 м. Процесс подъема и опускания образцов производился не менее трех раз и представлен на рис. 3.

Учитывая, что на возникающие усилия взаимодействия крон влияют площадь и путь их взаимодействия, которые зависят от таксационных показателей деревьев, для обработки полученных результатов использовали разрабо-

танную расчетную схему (рис. 4) и параметры исследуемых образцов (табл. 1).

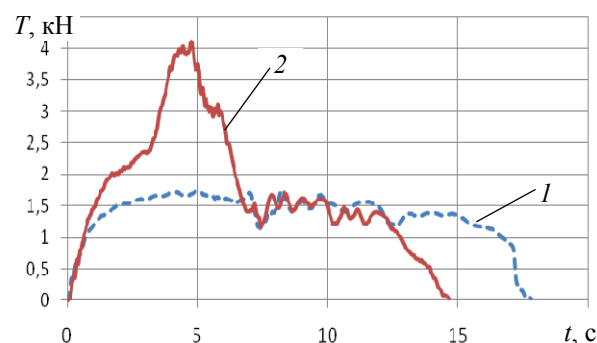


Рис. 3. Регистрация усилия при подъеме дерева:
1 – соприкосновение сучьев отсутствует;
2 – площадь взаимодействия крон $S_k = 2,776 \text{ м}^2$

При разработке расчетной схемы были приняты следующие допущения:

- площадь кроны определяется как площадь проекции конической кроны на вертикальную плоскость с учетом коэффициентов формы A_k и густоты ϵ_k кроны [3, 4];

- основания крон располагаются на одном уровне;

- основание кроны имеет форму круга.

Исходя из рис. 4, максимальная площадь взаимодействия крон S_{\max} состоит из площадей четырех прямоугольных треугольников S_1, S_2, S_3, S_4 , которые определяются следующим образом:

$$S_1 = \frac{1}{2} h_4 l_3 \cdot A_{k1} \cdot \epsilon_{k1}; \quad S_2 = \frac{1}{2} h_4 l_4 \cdot A_{k1} \cdot \epsilon_{k1};$$

$$S_3 = \frac{1}{2} h_5 l_5 \cdot A_{k2} \cdot \epsilon_{k2}; \quad S_4 = \frac{1}{2} h_5 l_6 \cdot A_{k2} \cdot \epsilon_{k2},$$

где $h_4, h_5, l_3, l_4, l_5, l_6$ – геометрические параметры площадей взаимодействия, м; A_{k1}, ϵ_{k1} – минимальные коэффициенты формы и густоты кроны из взаимодействующей пары деревьев № 1 и № 2; A_{k2}, ϵ_{k2} – минимальные коэффициенты формы и густоты кроны из взаимодействующей пары деревьев № 2 и № 3.

Учитывая, что

$$l_3 = \frac{h_4 D_{k2}}{2h_2}; \quad l_4 = \frac{h_4 D_{k1}}{2h_1};$$

$$l_3 + l_4 = \frac{D_{k1} + D_{k2}}{2} - l_1; \quad l_5 = \frac{h_5 D_{k3}}{2h_3};$$

$$l_6 = \frac{h_5 D_{k2}}{2h_2}; \quad l_5 + l_6 = \frac{D_{k2} + D_{k3}}{2} - l_2,$$

получаем

$$S_1 + S_2 = \frac{h_1 h_2 (D_{k1} + D_{k2} - 2l_1)^2}{4(D_{k1}h_2 + D_{k2}h_1)} \cdot A_{k1} \cdot \varepsilon_{k1};$$

$$S_3 + S_4 = \frac{h_2 h_3 (D_{k2} + D_{k3} - 2l_2)^2}{4(D_{k2}h_3 + D_{k3}h_2)} \cdot A_{k2} \cdot \varepsilon_{k2},$$

$$S_{\max} = \frac{h_2}{4} \left(\frac{h_1 (D_{k1} + D_{k2} - 2l_1)^2}{D_{k1}h_2 + D_{k2}h_1} \cdot A_{k1} \cdot \varepsilon_{k1} + \frac{h_3 (D_{k2} + D_{k3} - 2l_2)^2}{D_{k2}h_3 + D_{k3}h_2} \cdot A_{k2} \cdot \varepsilon_{k2} \right); \quad (1)$$

$$S_{\max} = \frac{h_2}{4} \left(\frac{h_1 (D_{k1} + D_{k2} - 2l_1)^2}{D_{k1}h_2 + D_{k2}h_1} + \frac{h_3 (D_{k2} + D_{k3} - 2l_2)^2}{D_{k2}h_3 + D_{k3}h_2} \right) \cdot A_k \cdot \varepsilon_k, \quad (2)$$

где $h_1, h_2, h_3, D_{k1}, D_{k2}, D_{k3}, l_1, l_2$ – геометрические параметры и расстояния между исследуемыми образцами деревьев.

Тогда для определения максимальной площади взаимодействия можно воспользоваться формулой (1). При рассмотрении процесса взаимодействия крон деревьев одной породы максимальная площадь соприкосновения определяется по формуле (2).

В результате обработки результатов исследований было установлено, что зависимость возникающего усилия взаимодействия крон от площади контакта имеет линейный характер. В свою очередь, из рис. 3 видно, что зависимость изменения усилий от времени, при подъеме дерева с постоянной скоростью, является нелинейной. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что изменение площади зависит от пути взаимодействия x_1 и x_2 .

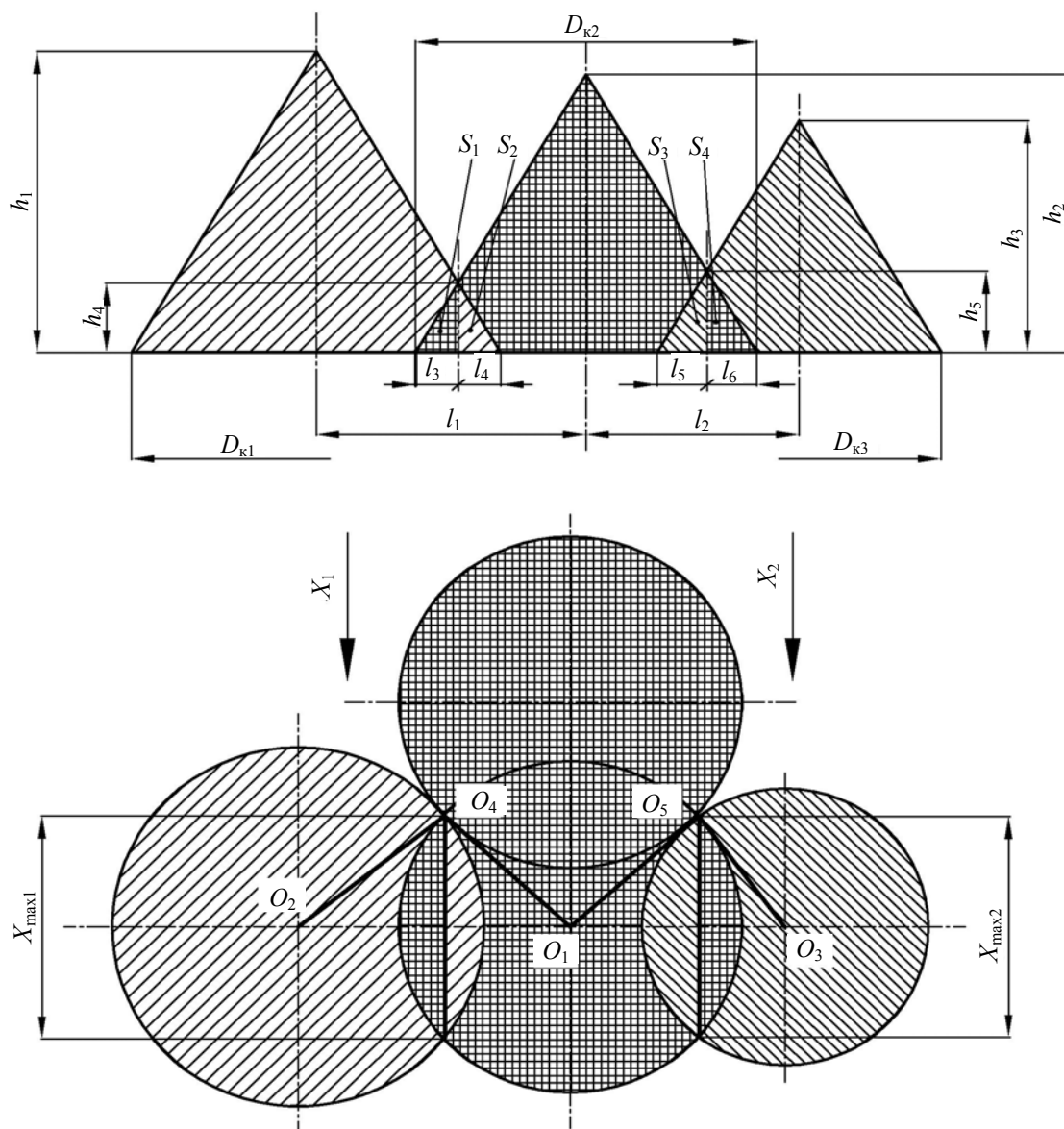


Рис. 4. Схема определения площади взаимодействия крон соприкасающихся деревьев

$$x_{\max 1} = \frac{\sqrt{(2l_1 - D_{k1} + D_{k2})(2l_1 + D_{k1} - D_{k2})(D_{k1} - 2l_1 + D_{k2})(2l_1 + D_{k1} + D_{k2})}}{4l_1}, \quad (3)$$

$$x_{\max 2} = \frac{\sqrt{(2l_2 - D_{k2} + D_{k3})(2l_2 + D_{k2} - D_{k3})(D_{k2} - 2l_2 + D_{k3})(2l_2 + D_{k2} + D_{k3})}}{4l_2}. \quad (4)$$

Для определения максимального пути взаимодействия x_{\max} рассмотрим треугольник $O_1O_2O_4$ (рис. 4), где

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{D_{k1}}{2}\right)^2 - \left(\frac{x_{\max 1}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{D_{k2}}{2}\right)^2 - \left(\frac{x_{\max 1}}{2}\right)^2},$$

откуда получим формулу (3).

Аналогично из треугольника $O_2O_3O_5$ получаем формулу (4).

При проведении эксперимента с целью уменьшения погрешности расстояния между деревьями l_1 и l_2 подбирались таким образом, чтобы $x_{\max 1} \approx x_{\max 2}$.

2. Результаты исследования взаимодействия крон деревьев. Исследования взаимодействия сучьев деревьев проводились в июле 2010 года в квартале № 49 ГЛХУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» на лесосеке, отведенной для проходной рубки площадью 1,0 га с породным составом 6С2Е1Б1Ос. Возраст насаждений составлял 70 лет, средний объем, высота и диаметр деревьев соответственно 0,55 м³, 26 м и 27 см.

Для определения усилий взаимодействия крон деревьев при их валке были выбраны по три образца сосны и ели с различными таксационными показателями. Это позволило симитировать процесс падения деревьев различного объема в древостое с разной полнотой насаждений в соответствии с принятой схемой про-

ведения экспериментальных исследований (рис. 1). При рассмотрении процесса взаимодействия деревьев изменение полноты производилось путем варьирования расстояния между неподвижными деревьями. Соотношение между полнотой насаждения P и параметрами крон имеет вид

$$P = \frac{D_{k1} + D_{k2}}{2l_0}. \quad (5)$$

Значения изменения полноты насаждений в зависимости от параметров подвижного дерева и соотношения между расстояниями l_0 , l_1 и l_2 приведены в табл. 2. С учетом факта, что независимо от того, кроны соприкасаются или имеют определенное их перекрытие, на практике полнота насаждений составляет 1,0, и в результате теоретического определения полноты (формула (5)) ее значение может превышать единицу, что указывает на взаимодействие сучьев растущего древостоя, в просвет между которым осуществляется валка.

На рис. 5 приведены процессы подъема елового дерева объемом 0,22 м³ (№ 2), из которых видно, что возникающие пиковые усилия зацепления сучьев T_{\max} зависят от максимальной площади перекрытия крон S_{\max} , а характер изменения и его продолжительность – от пути взаимодействия x и асимметрии крон.

Таблица 2

Соотношение между полнотой насаждения, расстояниями между деревьями и площадью взаимодействия

№ подвижного дерева	Расстояние между деревьями $l_0 / l_1 / l_2$, м	Максимальная площадь соприкосновения крон S_{\max} , м ²	Максимальный путь взаимодействия x_{\max} , м	Полнота насаждений
Сосна				
2	3,5 / 1,65 / 1,85	0	0	0,5
	2,7 / 1,27 / 1,43	0,161	1,16	0,685
	1,8 / 0,90 / 0,90	0,746	1,58	1,028
	1,5 / 0,45 / 1,05	0,976	1,59	1,233
Ель				
2	3,35 / 1,85 / 1,50	0	0	0,582
	2,3 / 1,31 / 0,99	0,750	1,23	0,848
	1,75 / 0,87 / 0,88	1,832	1,40	1,114
	1,35 / 0,81 / 0,54	2,724	1,38	1,444
3	3,7 / 2,06 / 1,64	0	0	0,5
	2,5 / 1,41 / 1,09	0,670	1,31	0,617
	2,2 / 1,10 / 1,10	1,312	1,53	0,841
	1,45 / 0,90 / 0,55	2,893	1,59	1,276

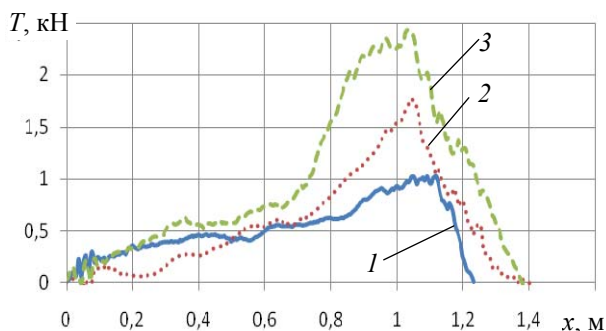


Рис. 5. Процесс изменения усилия взаимодействия кроны деревьев при подъеме ели объемом $0,22 \text{ м}^3$: 1 – $S_{\text{max}} = 0,75 \text{ м}^3$; 2 – $S_{\text{max}} = 1,83 \text{ м}^3$; 3 – $S_{\text{max}} = 2,72 \text{ м}^3$

На основе анализа полученных данных установлена линейная зависимость изменения T , кН, от S , м^2 , при валке еловых деревьев, позволяющая определять значения возникающих усилий (формула (6)) с достоверностью 97,5%.

$$T = 0,863 S + 0,168. \quad (6)$$

В процессе проведения экспериментальных исследований опытные образцы деревьев имели несимметричную форму, что привело к смещению максимального значения усилия относительно середины пути взаимодействия. С учетом того, что для расчетов берутся модельные деревья, имеющие симметричную форму, закон изменения площади от пути взаимодействия будет иметь параболический вид, симметричный относительно значения $x = 0,5 \cdot x_{\text{max}}$. Тогда изменение значения площади взаимодействия от пути примет вид

$$S = 4S_{\text{max}} \left(\frac{x}{x_{\text{max}}} - \left(\frac{x}{x_{\text{max}}} \right)^2 \right), \quad (7)$$

откуда

$$T = 0,863 \cdot 4S_{\text{max}} \left(\frac{x}{x_{\text{max}}} - \left(\frac{x}{x_{\text{max}}} \right)^2 \right) + 0,168. \quad (8)$$

В общем случае изменение усилия взаимодействия кроны деревьев при их валке будет иметь вид

$$T = 4k_1 \cdot S_{\text{max}} \left(\frac{x}{x_{\text{max}}} - \left(\frac{x}{x_{\text{max}}} \right)^2 \right) + k_2,$$

где k_1 , k_2 – поправочные коэффициенты, которые зависят от породы.

В результате исследования опытных образцов деревьев сосны было установлено, что усилия взаимодействия кроны принимать значения на 7–13% ниже, чем у ели, при аналогичных значениях максимальной площади взаимодействия сучьев падающего и стоящих деревьев. В связи с этим для сосновых насаждений были установлены поправочные коэф-

фициенты k_1 и k_2 , которые соответственно равны 0,777 и 0,151.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования изменения усилий, возникающих в результате взаимодействия кроны падающего и стоящих деревьев, позволили установить влияние различных таксационных показателей насаждений на данную величину.

По результатам проведенных исследований установлено, что объем деревьев оказывает косвенное влияние на изменение усилия зацепления сучьев, а основными параметрами являются диаметр, высота кроны взаимодействующих деревьев и полнота насаждений.

Исследованиями установлен линейный характер изменения усилий взаимодействия сучьев деревьев от площади их соприкосновения, которая имеет параболический закон изменения от пути взаимодействия. Причем в случае ассиметрии кроны изменение пиковых усилий не наблюдается, а происходит лишь их смещение относительно середины пути взаимодействия.

При переходе к угловой координате, описывающей процесс падения дерева, следует учитывать также величину бессучковой зоны ввиду изменения расстояния до центра тяжести взаимодействующей площади.

Разработанная методика определения усилий, возникающих в результате взаимодействия кроны деревьев при валке, может быть использована для расчета поправочных коэффициентов других пород древесины. Установленные закономерности могут быть применены при исследовании процессов свободного и вынужденного падения деревьев, а также моделировании возникающих динамических нагрузок в узлах и агрегатах технологического оборудования и базового шасси одно- и многооперационных лесозаготовительных машин, осуществляющих валку древесины, а также ее вынос в вертикальном положении к месту последующей обработки либо транспортировки.

Литература

1. Матвейко, А. П. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов / А. П. Матвейко, А. С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2002.
2. Анучин, Н. П. Лесная таксация: учеб. для вузов / Н. П. Анучин. – 5-е изд., доп. – М.: Лесная пром-сть, 1982.
3. Жуков, А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие для студентов вузов / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001.
4. Полищук, А. П. Валка леса. / А. П. Полищук. – 2-е изд., перераб. – М.: Лесная пром-сть, 1972.

Поступила 14.03.2011